

51

Int. Cl. 2:

**H 02 P 5/06**

19 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



**DE 28 02 224 A 1**

11

# **Offenlegungsschrift 28 02 224**

21

Aktenzeichen:

**P 28 02 224.4-32**

22

Anmeldetag:

**19. 1. 78**

23

Offenlegungstag:

**26. 7. 79**

31

Unionspriorität:

32 33 31

54

Bezeichnung:

**Schaltungsanordnung zur Drehzahlregelung einer von einem Elektromotor angetriebenen Arbeitsmaschine mit veränderlicher Belastung**

71

Anmelder:

**Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München**

72

Erfinder:

**Wehrich, Georg, Dr., 8521 Uttenreuth**

**Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt**

**DE 28 02 224 A 1**

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zur Drehzahlregelung einer von einem Elektromotor angetriebenen Arbeitsmaschine mit veränderlicher Belastung, bestehend aus einem Drehzahlregelkreis und einem unterlagerten Stromregelkreis, wobei bei dem Stromregler als zusätzlicher Sollwert eine dem Lastmoment proportionale Größe aufgeschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehzahlregler (10) ein reiner Proportionalregler ist und der zusätzliche Sollwert ( $m_L$ ) mittels eines Beobachters (12) gewonnen wird, der mit dem Strom ( $i_M$ ) des Antriebsmotors (1) vorgesteuert und der Drehzahl ( $n_M$ ) des Antriebsmotors nachgeführt ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für drehzahlelastische Antriebe der Beobachter zur Erzeugung einer der Differenzdrehzahl zwischen Antriebsmotor (1) und Arbeitsmaschine (3) proportionalen Größe verwendet ist, welche als weiterer Sollwert dem Stromregler (5) aufgeschaltet ist.

3. Anordnung nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Beobachter außer dem Modell der Regelstrecke noch jedem seiner Speicherglieder (14 - 17) zugeordnete Rückführglieder enthält, deren Verstärkungsfaktoren ( $K_1 - K_4$ ) so festgelegt sind, daß sich für die charakteristische Gleichung des Beobachters ein Polynom mit konstanten Doppelverhältnissen seiner Koeffizienten ergibt, wobei der Wert dieser Verhältnisse 0,5 beträgt.

4. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangsgrößen ( $i_M$ ,  $n_M$ ) des Beobachters diesen jeweils über gleich dimensionierte Glättungsglieder (11) zugeführt sind.

2802224

2  
- 2 -

78 P 3 0 0 8 BRD

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, d a-  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zur Bil-  
dung eines dem Lastmoment proportionalen Signals ein  
Integrator (17) verwendet ist.

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
Berlin und München

Unser Zeichen  
VPA 78 P 3 0 0 8 BRD

- 5    Schaltungsanordnung zur Drehzahlregelung einer von  
einem Elektromotor angetriebenen Arbeitsmaschine mit  
veränderlicher Belastung

- Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltungsanordnung  
10    zur Drehzahlregelung einer von einem Elektromotor an-  
getriebenen Arbeitsmaschine mit veränderlicher Bela-  
stung, bestehend aus einem Drehzahlregelkreis und einem  
unterlagerten Stromregelkreis, wobei dem Stromregler  
als zusätzlicher Sollwert eine dem Lastmoment propor-  
15    tionale Größe aufgeschaltet ist.

- Eine derartige Schaltungsanordnung ist nach der DE-AS  
2 337 722 bekannt. Zur Bereitstellung des zusätzlichen  
Sollwertes des Stromreglers ist dort an der den An-  
20    triebsmotor mit der Arbeitsmaschine verbindenden Welle  
ein Meßwertgeber zur direkten Erfassung des Drehmomentes  
der Welle angeordnet. Einrichtungen zur direkten Mes-  
sung des Wellendrehmoments sind jedoch stets mit Feh-  
lern behaftet, weshalb bei der bekannten Anordnung zur  
25    Kompensation dieser Fehler bzw. zur Sicherstellung  
einer ausreichenden Genauigkeit der Drehzahlregelung  
Hak 2 Met / 19.1.1978

der Drehzahlregler als PI-Regler ausgebildet werden muß. Dies hat jedoch zur Folge, daß der Regelantrieb bei Sollwertstößen zu Überschwingungen neigt. Ein weiterer Nachteil der bekannten Anordnung ist darin zu erblicken, daß prinzipiell mit einer das Drehmoment der Welle erfassenden Einrichtung nicht das reine Lastmoment erhalten werden kann, sondern daß hierzu noch eine relativ komplizierte und Multiplizierer enthaltende Korrekturschaltung zur Elimination des Beschleunigungsmomentes treten muß. Multiplizierer stellen aber eine weitere Quelle von Ungenauigkeiten dar.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Schaltungsanordnung der eingangs genannten Art ohne Verwendung eines Drehmomentmeßwertgebers mit einfachen Mitteln so zu realisieren, daß eine gute Regeldynamik, insbesondere ein schwingungsarmes Führungsverhalten bei großer Regelgenauigkeit erreicht wird. Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch, daß der Drehzahlregler ein reiner Proportionalregler ist und der zusätzliche Sollwert mittels eines Beobachters gewonnen wird, der mit dem Strom des Antriebsmoments vorgesteuert und der Drehzahl des Antriebsmotors nachgeführt ist.

Die Erfindung samt ihren weiteren Ausgestaltungen, welche in den Unteransprüchen gekennzeichnet sind, soll nachstehend anhand der Figuren näher erläutert werden.

In Figur 1 ist ein Anwendungsbeispiel der Erfindung bei einem drehzahlgeregelten, elastisch mit einer Arbeitsmaschine gekuppelten Antriebsmotor dargestellt. Der Gleichstrommotor 1 mit dem Trägheitsmoment  $\ominus_M$  ist durch eine mittels einer Drehfeder symbolisierten, elastischen Welle 2 mit der Arbeitsmaschine 3 verbunden, welche das Trägheitsmoment  $\ominus_L$  aufweist. An der Arbeitsmaschine greift das Lastmoment  $m_L$  in Richtung des

5  
- 3 -

VPA 78 P 3008 BRD

- gezeichneten Pfeiles an, entsprechendes gilt für das mit  $m_W$  bezeichnete Wellenmoment der elastischen Welle 2 und für das Motormoment  $m_M$  des Gleichstrommotores 1, welches proportional dem Ankerstrom  $i_M$  ist. Mit  $n_M$  und 5  $n_L$  bezeichnete Pfeile geben die Richtung von Motordrehzahl bzw. Lastdrehzahl an. Den Ankerstrom  $i_M$  des Gleichstrommotors 1 liefert ein an ein Drehstromnetz R, S, T angeschlossenes Stromrichterstellglied 4, dessen Steuersatz von einem als PI-Regler ausgebildeten Stromregler 10 5 beaufschlagt wird. Der Ankerstrom des Gleichstrommotors 1 wird mittels eines Stromwandlers 8 gemessen und als Istwert dem Vergleichsglied 7 des Stromreglers 5 zugeführt.
- 15 Der bisher beschriebene Stromregelkreis ist einem Drehzahlregler 10 unterlagert, dessen Ausgangsgröße einen Sollwert für den Stromregler 5 darstellt. Eingangsseitig wird der als Proportionalregler ausgebildete Drehzahlregler 10 von der Ausgangsgröße eines Vergleichs- 20 gliedes 9 beaufschlagt, dem der Drehzahlsollwert  $n_M^*$  und das Ausgangssignal einer mit dem Antriebsmotor 1 gekuppelten Tachodynamo 6 als Drehzahlistwert  $n_M$  zugeführt ist. Dem Vergleichsglied 7 ist als zusätzlicher Sollwert noch eine Größe  $m_L$  zugeführt, welche dem Last- 25 moment proportional ist. Diese lastproportionale Störgrößenaufschaltung wird mit großer Genauigkeit von einem Beobachter 12 aus dem Drehzahlistwert  $n_M$  und dem Ankerstromistwert  $i_M$  des Gleichstrommotors 1 gebildet. Die Bereitstellung dieser Eingangsgrößen für den Beobach- 30 ter bedeutet keinen besonderen Aufwand, da sie ohnehin für die Drehzahl- bzw. Stromregelung erfaßt werden müssen. Mit dieser Störgrößenaufschaltung bekommt der Stromregler 5 genau den Sollwert vorgeschrieben, welcher im stationären Zustand erforderlich ist, um die an der Ar- 35 beitsmaschine 3 angreifende Last zu kompensieren. Der Drehzahlregler 10 braucht daher im stationären Zustand

keinen Beitrag zum Sollwert des Stromreglers 5 zu liefern, d.h. der Regelabgleich ( $n_M^* = n_M$ ) wird exakt erreicht, obwohl der Drehzahlregler 10 als reiner Proportionalregler ausgebildet ist. Andererseits bringt die  
 5 Ausbildung des Drehzahlreglers 10 als Proportionalregler, d.h. die Vermeidung eines Integralanteils beim Drehzahlregler den Vorteil, daß sich ein überschwingungsarmes Führungsverhalten der Drehzahlregelung bei sprunghaftigen Drehzahlsollwertänderungen ergibt.

10 Die von dem Tachodynamo 6 und dem Stromwandler 8 gelieferten Istwerte  $n_M$  und  $i_M$  sind zur Verringerung des Meßrauschens der Ausgangsgrößen des Beobachters 12 über zwei zweckmäßigerweise gleich dimensionierte Glättungsglieder 11 dem Beobachter 12 zugeführt. Die Zeitkonstanten dieser Glättungsglieder werden möglichst klein gewählt.

Bei einem nennenswerten Unterschied zwischen den Trägheitsmomenten von Antriebsmotor 1 und Arbeitsmaschine  
 20 3 kann es sich zur Dämpfung von auftretenden Torsionsschwingungen der elastischen Welle 2, welche sich in Pendelungen der Lastdrehzahl  $n_L$  auswirken, als vorteilhaft erweisen, dem Stromregler 5 noch eine weitere Größe  
 25 als Sollwert aufzuschalten, welche der ebenfalls vom Beobachter erzeugten Differenz zwischen der nachgebildeten Motordrehzahl  $\hat{n}_M$  und der nachgebildeten Drehzahl  $\hat{n}_L$  der Arbeitsmaschine 3 proportional ist. Der Proportionalitätsfaktor wird dabei durch die Verstärkung K5  
 30 eines Proportionalgliedes 13 bestimmt.

Figur 2 erläutert Aufbau und Wirkungsweise des Beobachters 12. Er enthält mit den als Speicherglieder wirkenden Integratoren 14 - 17 ein lineares Modell des  
 35 in Figur 1 mit 1 - 3 dargestellten mechanischen Teils der Regelstrecke. Über den Integratoren 14 - 16 sind je-

7  
- 5 - VPA 78 P 3 008 BRD

weils deren Übertragungsfunktionen angegeben, wobei  $s$  der Laplace-Operator,  $T_M$  die dem Trägheitsmoment  $\Theta_M$  des Antriebsmotors 1 entsprechende Integrierzeit des Integrators 14,  $T_c$  die der Drehfederkonstante bzw. dem  
 5 Gleitmodul der elastischen Welle 2 entsprechende Integrierzeit des Integrators 15 und  $T_L$  die dem Trägheitsmoment  $\Theta_L$  der Arbeitsmaschine 3 entsprechende Integrierzeit des Integrators 16 bedeutet. Angesteuert wird dieses Modell von dem durch den Stromwandler 8 ge-  
 10 messenen Ankerstromistwert  $i_M$ , der über ein Glättungs- oder Verzögerungsglied 11 mit der Zeitkonstanten  $T_1$  dem Eingang des Integrators 14 zugeführt ist. Am Ausgang des Integrators 14 wird eine Größe  $n_M$  abgenommen - "beobachtet" -, welche dem tatsächlich von der Tacho-  
 15 dynamo 6 erzeugten Drehzahlwert  $n_M$  entsprechen soll. Dies kann nur dann der Fall sein, wenn dem Eingang des die Arbeitsmaschine modellmäßig nachbildenden Integrators 16 eine Größe  $\hat{m}_L$  zugeführt wird, welche genau dem an der Arbeitsmaschine 3 angreifenden Lastmoment  $m_L$   
 20 entspricht. Zur Nachbildung des Lastmoments  $m_L$  dient ein Integrator 17, dem über ein Proportionalglied mit dem Verstärkungsfaktor  $K_4$  die Differenz zwischen dem tatsächlich gemessenen und über das Zeitkonstantenglied 11 geführten Motordrehzahlwert  $n_M$  und der vom Inte-  
 25 grator 14 nachgebildeten Motordrehzahl  $\hat{n}_M$  zugeführt wird. Die Ausgangsgröße des Integrators 17 wird sich demzufolge solange verändern, bis tatsächliche Motordrehzahl  $n_M$  und nachgebildete Motordrehzahl  $\hat{n}_M$  exakt übereinstimmen und damit das im Beobachter enthaltene  
 30 Regelstreckenmodell auch betriebsmäßig völlig mit der tatsächlichen Regelstrecke übereinstimmt. Es stimmen dann insbesondere der Wert des nachgebildeten und zur Störgrößenaufschaltung benutzten Lastmoments  $\hat{m}_L$  und die nachgebildete Drehzahldifferenz  $\hat{n}_M - \hat{n}_L$  mit den tat-  
 35 sächlich an der Regelstrecke auftretenden entsprechenden Größen überein.



Damit das im Beobachter enthaltene Regelstreckenmodell dauernd den betriebsmäßigen Schwankungen der Regelstrecke angepaßt bleibt, und somit der "beobachtete" Wert  $\hat{n}_M$  mit dem tatsächlichen Wert übereinstimmt, ist es  
5 wichtig, daß diese Anpassung mit möglichst großer Geschwindigkeit erfolgt. Vergewärtigt man sich, daß beim betrachteten Beispiel der Beobachter 12 einen Regelkreis mit vier Speichergliedern, also einen Regelkreis vierter Ordnung darstellt, so sollte der Frage der  
10 Stabilität und der Dynamik des Beobachters besondere Beachtung geschenkt werden. Es sind daher außer dem Rückführglied mit dem Verstärkungsfaktor  $K_4$  noch drei weitere proportional wirkende Rückführglieder mit den Verstärkungsfaktoren  $K_1 - K_3$  vorgesehen, welchen ein-  
15 gangsseitig eine der Differenz zwischen tatsächlicher und nachgebildeter Motordrehzahl entsprechende Spannung zugeführt ist und deren Ausgangsgrößen jeweils die Eingänge der Speicherglieder 14 - 17 beaufschlagen. Die Verstärkungsfaktoren dieser Rückführglieder beeinflussen somit die Koeffizienten der Übertragungsfunktion des  
20 Beobachters bzw. die Koeffizienten seiner sein dynamisches Verhalten beschreibenden charakteristischen Differentialgleichung. Man kann durch geeignete Wahl der Verstärkungsfaktoren  $K_1 - K_4$  mit Hilfe bekannter Opti-  
25 mierungsregeln erreichen, daß der Beobachter ein den jeweiligen Verhältnissen optimal angepaßtes Verhalten erhält.

Als besonders zweckmäßig hat es sich erwiesen, die Verstärkungsfaktoren  $K_1 - K_4$  so festzulegen, daß sich für  
30 die charakteristische Differentialgleichung des Beobachters ein Polynom mit konstanten Doppelverhältnissen seiner Koeffizienten ergibt, wobei der Wert dieser Verhältnisse 0,5 beträgt. Unter Doppelverhältnis wird hier  
35 das Verhältnis der Verhältnisse benachbarter Koeffizienten eines nach steigenden Potenzen des Laplace-Operators

9  
- 7 -

VPA 78 P 3 0 0 8 BRD

- geordneten Nennerpolynoms einer Übertragungsfunktion bzw. einer ebenso geordneten charakteristischen Gleichung verstanden. Wird der vorliegende Beobachterregelkreis nach der zuvor genannten Methode der konstanten
- 5 Doppelverhältnisse, welche ausführlich in dem Buch von Ernst und Ströle "Industrieelektronik" 1973, Seiten 62 - 68, beschrieben ist, optimiert, dann sind die Verhältnisse benachbarter Koeffizienten Glieder einer geometrischen Reihe ( $a, aq^2, aq^3$ ), wobei das Anfangsglied  $a$
- 10 der sogenannten Ersatzzeitkonstanten des Beobachters entspricht und  $q$  den Wert 0,5 aufweist.

- Die Zeitkonstante  $T_1$  der Glättungsglieder 11 und die Ersatzzeitkonstante des Beobachters sollten so klein wie
- 15 möglich gewählt werden. Eine untere Grenze ergibt sich durch das Maß des eben noch zulässigen Rauschanteils in den Ausgangssignalen  $\hat{m}_L$  und  $\hat{n}_M - \hat{n}_L$  des Beobachters 12. Um diesen Rauschanteil 17 niedrig zu halten, ist es zweckmäßig, wenn das Nachbildeglied 17 für das Moment
- 20 keinen Proportional- oder Differentialanteil erhält, sondern als reiner Integralregler ausgebildet ist.

5 Patentansprüche

2 Figren

<sup>10</sup>  
Leerseite

**28 02 224**  
**H 02 P 5/06**  
**19. Januar 1978**  
**26. Juli 1979**

78 P 3008 1/1



ORIGINAL INSPECTED

1/9/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI

(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

002145515

WPI Acc No: 1979-G5452B/197931

Control circuit for processing machine - with additional nominal value  
generated by automatic controller and applied to speed controller

Patent Assignee: SIEMENS AG (SIEI )

Inventor: WEIHRICH G

Number of Countries: 001 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 2802224	A	19790726				197931 B
DE 2802224	C	19820609				198224

Priority Applications (No Type Date): DE 2802224 A 19780119; DE 3036658  
A

19800929

Abstract (Basic): DE 2802224 A

The processing machine is driven by an electric motor, its load  
varies, and the circuit consists of a speed control circuit and a  
current control circuit. A variable proportional to the load torque

is applied to the current controllers as an additional nominal value.

The speed controller (10) is a pure proportional controller,

and the additional nominal value (mL) is generated by an automatic  
controller (12) controlled by the driving motor (1) current (iM).

The speed (nM) of the motor is controlled. A differential rotary speed  
is

developed between the driving motor (1) and the working machine (3)  
which is proportional to the current in the circuit.

Title Terms: CONTROL; CIRCUIT; PROCESS; MACHINE; ADD; NOMINAL; VALUE;  
GENERATE; AUTOMATIC; CONTROL; APPLY; SPEED; CONTROL

Derwent Class: X13

International Patent Class (Additional): H02P-005/06

File Segment: EPI

?

